

数発達に影響する要因 --発達認知アプローチからの分析--

著者	山形 恭子
雑誌名	京都ノートルダム女子大学研究紀要
号	47
ページ	49-61
発行年	2017-03-01
URL	http://id.nii.ac.jp/1057/00000219/

数発達に影響する要因 —発達認知アプローチからの分析—

Factors Influencing Numerical Development:
Analyses from Developmental and Cognitive Perspectives.

山形恭子
YAMAGATA Kyoko

Recent studies examine several factors influencing mathematical learning and mathematical achievement in young children. These factors are divided broadly into domain-general and domain-specific ones. This paper reviewed the factors, such as domain-general working memory and language skills including phonological awareness, and domain-specific quantity and counting ability. The results found that the effect of these factors depended on the linguistic or non-linguistic mathematical tasks and children's age. In addition, when younger children acquire numeracy, it was indicated that early numerical activity under caregiver-child interaction plays an important role. We suggest that various factors contribute to early mathematical development.

Keywords: Numerical development; Developmental and cognitive factors; Working memory; Language skills; Young children.

1. はじめに

数発達研究は乳児を含む幅広い年齢の対象児に関して追究され、多くの成果を蓄積してきた (Bisanz, Sherman, Rasmussen & Ho, 2005; Fuson, 1988; Gelman & Gallistel, 1978; Starkey & Cooper, 1980; Wynn, 1992 et al.)。最近の研究はこれらの先行研究を発展させて5、6歳の就学前児や就学後の対象児に関して彼らの数発達・算数発達に影響する要因を検討している。これらの研究では実証研究から数・算数発達に関するモデル・理論が提起されて就学後の算数能力・算数成績を予測する要因が明らかにされている。本稿ではこうしたモデル・理論を取り上げて数発達に影響する要因を概観し、あわせて、4歳以下の初期数発達における影響要因についても述べ、数発達に影響する要因を文献研究から考察する。

最近の数発達のモデル・理論ではその寄与する要因として発達認知的要因に焦点を当て、作動記憶や言語スキルといった領域一般 (domain-general) の要因や数能力に関連する領域固有な (domain-specific) 要因が吟味されている。本稿では先ず領域一般ならびに領域固有な発達

認知的要因を追究した就学前児の研究を紹介し、次いで4歳以下の年少幼児の研究を挙げて1、2歳から5、6歳の数発達に影響する要因に関して論じる。

2. 数発達に影響する発達認知的要因

(1) 領域一般の要因

数発達に影響する領域一般の要因として作動記憶 (working memory) や言語スキルが探究されている。本節では最初に作動記憶を調べた代表的な研究を挙げ、次いで言語スキルを取り上げた研究を述べる。

作動記憶は Baddeley & Hitch (1974) によって提案されたが、Baddeley は作動記憶を「認知課題に必要な情報の短期的な貯蔵と操作のために用いられるシステム」と定義している。作動記憶は次の3つのサブシステム、すなわち、①視覚－空間情報を保持・操作する視空間スケッチパッド (visual-spatial sketchpad)、②言語情報を維持・リハーサルするための音韻ループ (phonological loop)、③課題遂行の調整・選択的注意・セット移行・抑制を含む注意統制システムである中央実行系 (central executive system) から成る。これらのサブシステムに関しては神経心理学や脳イメージング研究においてその存在が確認され (Dehaene, Piazza, Pinel & Cohen, 2005 et al.)、また、発達的にサブシステムを測定する課題の遂行が就学前児から青年になるにともなって増加することも示されている (Gathercole, Pickering, Ambridge & Wearing, 2004)。

数発達への作動記憶の影響を検討した代表的な研究として Rasmussen & Bisanz (2005) が挙げられる。彼らは作動記憶と算数スキルとの関連を検討しているが、その際に、Huttenlocher et al. の仮説 (Huttenlocher, Jordan & Levine, 1994; Levine, Jordan & Huttenlocher, 1992) を検証するために作動記憶を取り上げている。Huttenlocher et al. は算数問題が非言語的か言語的かによって結果に違いが見られ、よちよち歩き幼児 (toddler) や就学前児は非言語的問題をメンタルモデルで解いていると説明している。メンタルモデルは心の中でイメージすることであるが、そのためには視空間作動記憶や中央実行系を必要とすると捉えている。他方、1年生は言語的表象・言語過程を算数問題で用いるとされ、音韻ループと中央実行系の作動記憶サブシステムを用いて算数問題を解くと予想している。彼らはこの仮説を検証するために作動記憶の3つのサブシステムを取り上げている。

調査対象は就学前児34名 (平均5歳3カ月) と1年生29名 (6歳11カ月) である。課題として2つのセッションが設定されたが、第1セッションでは太陽－月ストループ課題、計算問題、数字スパン記憶課題を課している。太陽－月ストループ課題は太陽と月の絵を提示してそれぞれを名付け、その後、月に対して太陽、太陽に対して月と名付けるように求める課題である。この課題は抑制的統制の測度とされ、中央実行系を捉えていると考えられている。また、数字スパン記憶課題は実験者が一連の数字を読み、それを対象児が同じ順序で繰り返す課題であ

る。第2セッションではコルシ(Corsi)スパン記憶課題、計算問題、逆数字スパン課題(backward digit span task)、計数スパン課題(counting span task)を課している。コルシスパン記憶課題は9つの点をもった紙を提示して、点は池の石で、指がカエルと教示される。実験者が指で石を跳ぶが、対象児に同じ順序で同じ石を跳ぶように教示する。この課題は視空間作動記憶の測度とされている。計数スパン課題は黄と青の点があるカードを提示され、黄色の点を数えるように教示される。そして、別のカードが次に提示されて黄色の点を数えるように教示される。さらに、カードを2～5組提示後に提示順に各カードの黄色い点の数を再生することを求められる。この課題は情報の短期貯蔵と操作を要求する記憶容量と中央実行系の測度と考えられている。また、計算問題では非言語的・言語的加算課題を与え、不適切な情報が含まれる場合も設定されている。不適切な情報問題は初めに箱に赤いチップを入れるが、次に2つの白いチップ(不適切な情報)と5つの赤いチップを入れ、対象児に赤のチップがいくつあるかを子どものもつチップで示すように求める課題である。この不適切な数情報問題は中央実行系の役割を探るために用いられた。

結果は計算問題では非言語・言語課題で結果に違いが見出され、就学前児で非言語的問題がよくでき、1年生では非言語と言語的な問題間の違いに有意差がなかった。就学前児は計算問題でメンタルモデルを使用し、視空間作動記憶を用いていたが、1年生では言語的表象を用いて視空間作動記憶よりも音韻ループに依存していることが示された。また、作動記憶を示す逆数字スパン課題と計数スパン課題では1年生が有意に良い成績を示した。計算と作動記憶の関係は計算問題の言語・非言語特徴と関連した。また、これらの問題で要求される作動記憶のサブシステムによって両対象児が問題を表し解決する方法に違いが見られることが示された。作動記憶は算数遂行と関連し、特に算数成績は就学前児で視空間作動記憶や中央実行系の影響を受けることが、1年生では音韻ループや中央実行系が影響することが示唆された。

Passolunghi, Vercelloni & Schadee (2007) はこれまでの研究が就学児の算数学習を決定する要因を分析しているものの(Geary, 2011; Geary, Hamson & Hoard, 2000)、因果関係を明確にしていないと指摘し、縦断研究を用いて因果関係の分析をおこなっている。

彼らは170名の1年生の初めと終わりにテストを課して算数学習に影響を与える先行条件を調べている。課題としてIQテストのWISC-Rから遂行(積木模様)課題と言語(語彙)課題を用い、記憶能力として短期記憶課題(数字・語スパン前向課題)、作動記憶課題として語・数字スパン逆向課題と聴取(listening)スパン完成課題(作動記憶の中央実行系を含む)を、音韻能力課題として音韻ループの測度と考えられる語反復(word repetition)課題、擬語反復(pseudoword repetition)課題、音韻分析課題、音韻分断課題を、数能力を測る課題として数読字・書字と数書き取り課題、3種の大きさ比較課題(事物・絵・数)、計数知識(counting knowledge)課題、言語的計数課題、計数速度課題、計数速度誤答課題を課した。1年生の終わりには算数成績を評価するために標準算数テスト(論理・計算・幾何学)を実施している。

結果は作動記憶課題と計数課題が算数学習の先行条件として有効であることが示された。特

に、作動記憶の中央実行系が算数能力の予測子として重要であることが示された。この研究では音韻意識は算数能力を予測しなかったが、読字能力を予測した。音韻意識に関するこの結果は7歳の算数能力に影響するとした Leather & Henry (1994) の結果と一致しなかった。また、作動記憶課題と計数課題はいずれも IQ の影響を受けたが、算数学習能力には直接 IQ 水準の影響が見られなかった。なお、この研究では言語的計数課題が算数学習を予測したが、数字の産出・理解は後の学習と関係がなかった。考察では言語的計数課題は数系列の数的知識を要求し、それ故に作動記憶の音韻ループの役割も含む課題と推測されると論じている。

Passolunghi et al. の本研究は小学校入学後の1年生を対象としているが、言語能力に関しては就学前児と異なることから、音韻意識の効果がなかった可能性が考えられる。この点に関しては今後の再検討が必要であろう。また、本結果は作動記憶と計数課題が IQ を媒介として算数学習に影響を与えることを示し、IQ も考慮する必要性を示唆している。ただし、本研究は1年生の初めと終わりといった短期間の因果関係の分析をおこなっていることから、長期にわたる縦断研究が必要といえよう。

(2) 経路モデル

LeFevre, Skwarchuk, Smith-Chant, Bisanz, Kamawar & Penner-Wilger (2010) は数処理に関する Dehaene et al. (2005) の神経回路モデルに基づいて経路モデル (Pathways Model) を提起している。彼女らは数スキル・算数能力の発達に関連する先行の認知要因として言語的 (linguistic)、量的 (quantitative)、空間注意 (spatial attention) の3経路を仮定し、それぞれが初期数能力に対して独立に寄与すると主張している。なお、彼女らは言語スキルが数命名や数書字のようなシンボリックな数システムの知識を含む数測度の遂行を予測し、量的要因は量を表し操作する数量を処理するスキル (多少、部分全体比較、非言語的演算) を、空間注意は視空間スケッチパッドを指し、算数成績を予測すると捉えている。また、彼女らはこれらの言語的、量的、空間注意の経路が就学後の算数遂行に独立に寄与すると仮定している。

LeFevre et al. はこのモデルを4歳と5歳の182名の就学前児と幼稚園児を対象に検討し、2年後の算数成績との関係を調べている。その際に言語的スキルとして Peabody Picture Vocabulary Test 改訂 Form B と音韻処理の総合検査である削除サブテストを、量的知識としてサブタイジング潜時 (subtizing latency) を、空間注意として視覚スパン課題 (コルシスパン課題) を課している。サブタイジング課題では1～6の点の配列を提示してできるだけ早く点の数を答えることが求められ、反応速度が測られた。また、初期数スキルとして数の命名と非言語的算数を、2年後の結果の測度として算数の伝統的な知識を見る KeyMath Test-Revised と Woodcock-Johnson Test of Achievement-Revised の計算テスト、算数知識の数直線課題とシンボリック大きさ比較課題、語読み課題を課して検証している。

その結果、言語スキル (語彙・削除) が数命名を予測したが、非言語的算数は予測しなかった。また、量スキルを測るサブタイジング潜時は非言語的算数を予言したが、数命名を予測しなかった。空間注意は両方の数測度を予測した。本結果から言語と量の経路は初期数スキルを

独立に予測するという仮説が支持された。さらに、言語、量と空間注意の3経路は課題に依存して後の算数遂行に独自の相対的な寄与をすることも示された。

その後、本モデルは同じグループの Sowinski, LeFevre, Skwarchuk, Kamawar, Bisanz & Smith-Chant (2015) によって量経路に関して再検討された。この訂正モデルでは空間注意経路を Baddley & Hitch (1974) の作動記憶モデルに基づいて視空間スパン課題、音韻ループと中央実行系に対応する前向数字スパン (forward digit span) 課題、音韻ループと中央実行系を問う逆数字スパン課題を用い、統制測度として処理速度と性、親の教育を取り上げている。また、訂正モデルでは非シンボルの算数課題は課していないが、量経路ではサブタイジングに加えて計数とシンボリック大きさ比較課題を含めている。なお、先の LeFevre et al. の研究では縦断研究をおこなっているが、Sowinski et al. の本研究では3年生のデータを用いて共時的に検討している。数の従属変数としては逆向計数 (backward counting), 算術流暢さ (arithmetic fluency), 計算 (calculation), 数体系知識 (numeration test, 数直線課題, 数再認, 次数と語読み (Woodcock Reading Mastery Tests-Revised/Normative Update, Form の語同定サブセット)) の課題を含めている。

結果は3つの経路が逆向計数と算術流暢さと関係したが、作動記憶とは関係せず、言語と量経路は計算と数体系知識のみと関係した。また、言語経路のみが語読みと関係した。この研究は就学前児を対象に小学校入学後の算数成績との関係を調べたものではなく、小学2, 3年生を対象としており、その点で LeFevre et al. の先の研究と異なっていた。Sowinski et al. の結果の解釈ではこの点に注意する必要があるが、作動記憶の効果が見られなかったことは対象児の年齢と関係している可能性も推察され、今後の検討が待たれる。

なお、Cirino (2011) は LeFevre et al. の研究の対象児数が少ないと指摘し、LeFevre et al. のモデルに基づいて 287 名の幼稚園児を対象に同様な言語と量、空間注意について検討している。

(3) 発達水準に基づく理論

上記のモデル・理論はある時点での数能力や認知要因が後の数能力・算数成績に影響するかどうかを検討しているが、次に発達過程を考慮した理論を見てみよう。Krajewski & Schneider (2009) は初期算数能力が以下の3つの発達水準を経て獲得されるとするモデル・理論を提案している。

水準Ⅰは数字語 (number word) 系列が量から切り離されている基本的な数スキルの水準である。子どもは乳児研究から量を区別する能力をもって生まれてくることが実証されていることから、量弁別が可能であると仮定される。そして、言語獲得にともなって量を言語的に弁別する能力を習得し、多いや少ない、同じ量のような言葉を用いて量を区別するようになる。2歳頃に子どもは計数 (数字語を唱える) を習得するが、量を述べるために数字語をまだ使えない。その結果、音韻意識のような言語能力が数字語系列の獲得に重要となる。

水準Ⅱでは量と数字語が結合する。年少幼児は数字語が量と結合していることに気づくが、この時期には不正確な結合 (Ⅱ a) と正確な結合 (Ⅱ b) の2つの時期がある。前者では量に対す

る数字語の寄与が不正確で曖昧な概念を発展させる。たとえば、同じ量 ($20 = 22 = \text{多い}$) に当てはめた数字間を区別できない。他方、隣接した数字の間を区別する能力は量が正確な数字語系列（計数を量弁別に結合する）に配列される時に可能になる。また、この結合とは独立に、子どもは量の間の関係を数字語への言及なしに経験する。その場合、量が細分化される（4、5歳から部分－全体シエマ）ことや加えたり、取り去ったりすると量が変化することを理解する。Ansari, Donlan, Thomas, Ewing, Peen & Karmiloff-Smith (2003) はこの水準では視空間作動記憶が基数理解において特に重要になることを示している。

水準Ⅲでは数字語と量関係の結合（数関係）が見られる。量間の部分－全体関係が正確な数字語で表されること（数の分解）を理解する。このような量間の関係を理解するためには量の非言語的表象が課題解決に重要となる。それゆえに就学前児の視覚空間能力が特に重要となる。この初期の量－数能力（QNC Quantity-Number Competencies）は後の算数成績を予測することが多くの実証研究で報告されている。

そこで、この理論モデルに依拠し、Krajewski & Schneider は作動記憶の役割、特に視空間作動記憶について検討している。彼らは視空間作動記憶が算数成績と同様に、高次の QNC（水準ⅡとⅢ）を予測するが、基礎数字スキル（水準Ⅰ）を予言しないと仮定した。また、初期の音韻意識の後の算数成績への影響に関してその結合が直接か間接かも検討している。

方法として縦断研究において就学前児（平均 5 歳 7 カ月）で音韻意識、作動記憶の 3 サブシステムを調べ、さらに QNC を 5 歳 11 カ月（水準Ⅰ）と 6 歳 5 カ月（水準ⅡとⅢ）について検討し、3 年生（8 歳 8 カ月）の算数学校成績を予言するかどうかを調べている。

視空間スケッチパッドと音韻意識が算数の異なる水準に影響するかを検討したところ、結果は音韻意識が QNC の発達レベルⅠ（量とリンクしていない数字語）の獲得を促進したが、高次の算数能力の形成には不適切であった。また、音韻意識は就学前児で視空間スケッチパッドと強い関係を示したが、3 年生の算数学校成績を予測しなかった。

以上から音韻意識は算数理解の発達の必要な先行条件であるが、十分条件でないことが示された。また、作動記憶の視空間スケッチパッドは学校での算数能力に直接影響しなかったが、QNCⅡとⅢの量と数字語結合のような高次の領域固有の先行変数に媒介された学校成績に間接的な影響を及ぼすことが明らかにされた。Krajewski & Schneider の研究ではこれまで就学前児の非言語的算数問題で視空間スケッチパッドが影響するとされてきたが、就学児においても間接的ながら成績に影響することが示された。また、どのような領域固有と領域一般の認知要因がどの発達水準で関与しているのかを明らかにし、彼らの見解が支持された。

(4) 言語関連要因の分析

言語要因が数発達に関連することが示唆されているが、ここでは言語関連要因を検討した研究を紹介する。Krajewski & Schneider の研究は音韻意識が発達水準Ⅰの算数能力と関係することを示したが、ここでは音韻意識以外の要因を取り上げた研究を述べる。

Zhang, Koponen, Räsänen, Aunola, Lerkkanen & Nurmi (2014) はフィンランドの大規模な

縦断研究において幼稚園児（1880名）の言語と空間スキルが1年生と3年生の計算能力（arithmetic）の発達を予測するかどうかを検討している。その場合、彼らは従来の研究で用いられてきた言語課題が音声言語に関する音韻意識を取り扱い、書字言語を取り上げていないと指摘し、その計算発達への影響を探っている。計算課題では特に数・操作を含む書字言語の理解を要求する。そこで、彼らは書字言語が音声を書字文字に写像する経験を与え、書字シンボルを使用・操作する能力を促進すると考えた。また、空間スキルでは3タイプ（空間知覚、心的回転、空間的視覚化）（Linn & Peterson, 1985）のなかの多様な解決方略を必要とする空間的視覚化を取り上げている。空間スキルと計算発達との関係に関しては心理物理学や神経心理学研究において数の大きさが内的数直線に沿って心の中で左から右へと空間的に符号化されることが示されており、空間スキルが計算発達に関連すると捉えている。そこで、彼らの研究では縦断研究において初期の空間視覚化能力が後の計算能力を予測するかどうかを検討している。

また、最近の研究では言語と空間要因が計数系列知識を含む数スキルを経て間接的に計算発達に寄与することも示唆されている（Krajewski & Schneider, 2009; LeFevre, Fast, Skwarchuk, Smith-Chant, Bisanz, Kamawar & Penner-Wilger, 2010）。計数系列知識は前向・逆向系列で言語的に数を計数する能力を指すが、計算する時に一般にこのような計数に基づく方略を用いる。そこで、彼らの研究では言語スキルのより広い範囲（音韻意識と語彙、文字知識）を取り上げて、計算能力間の関係が計数系列知識によって媒介されるかどうかを調べている。特に、言語スキルと計算発達との関係は前向・逆向計数知識に媒介されるが、他方、空間スキルと計算発達との関係は前向計数ではなく、逆向計数に媒介されると仮定している。課題として音韻意識、文字知識、語彙、空間視覚化、計算（加算・減算）課題と前向・逆向計数課題（1年生秋に）を課している。

結果は計数系列知識が言語（文字知識）と空間（空間視覚化）スキルと計算能力間の連合を媒介することを示した。特に、言語スキルにおいて従来強調されてきた音韻意識よりも書記に関連する文字知識が計数系列知識を媒介して計算能力に影響することが示された。これは数計算では計算式などの記号的表示が関連するために、この研究でえられた文字関連知識が計数系列知識に寄与したと推測される。この研究は数能力・算数能力は計算などの数課題の種類によって影響する要因が異なることを示唆している。

次に算数能力とこうした読み書き能力・文字習得との関連を広く見た研究を挙げる。

(5) 読み書き能力と数能力の発達

読書（reading）と算数は幼児や児童のアカデミックな達成の2領域である。Purpura, Hume, Sims & Lonigan（2011）は初期読み書きスキルが初期数スキルの発達を予測するかどうかを調べている。

本研究は393名を含む算数発達に関する大規模研究の一部としておこなわれたが、対象児91名が研究の初年度に初期読み書きスキルを検査され（TOPEL Test of Preschool Early Literacy Skills, T1）、1年後に69名の就学前児が算数能力を評価された（T2）。なお、3歳から5歳の対

象児の T1 での平均年齢は 4.41 歳であった。彼らに PENS (Preschool Early Numeracy Skills) テストと TOPEL が与えられた。そして、1 年後に同じ PENS テストと Woodcock-Johnson III テスト応用問題と計算サブテストが再度課された。PENS は数えること (Numbering) (言語計数、1 以外の数からの前後計数、計数誤答同定、基数など)、数関係 (順序数、相対的大きさ、数比較など)、計算操作 (事物での加算、減算、ストーリー問題、数比較など) から成り、それぞれ 7～9 課題を含んでいる。TOPELS はプリント知識と語彙、音韻意識から成る。また、非言語認知能力の測度ならびに統制変数としてスタンフォード・ビネの模写サブテストが用いられた。

結果はプリント知識と語彙は T2 応用問題を予測したが、音韻意識は有意ではなかった。また、T1 の PENS と初期読み書きスキルは T2 の計算テストを予言しなかった。初期数能力とプリント知識、語彙との関係は算数スキルがこれらの言語スキルとの関連を示したが、特殊な言語用語の理解が計算などの算数課題の完成に必要なことを示唆している。また、ストーリー問題のような算数推理課題では話されたストーリーを理解する言語発達が要請された。同様にインフォーマルな算数からフォーマルな算数発達への移行では子どもの算数知識はフォーマルな算数と連合した書字シンボルに適用された。本研究から初期読み書き能力と算数発達との間に関連が示唆されたが、今後はこの両者の関係を計算テストのような算数課題の性質との関連で詳しく分析する必要がある。

(6) 諸研究のまとめ

上記の諸研究においては幼稚園児や就学前児を対象として数能力・算数能力とそれに寄与する多様な発達認知要因を取り上げ、小学校入学後の算数成績・算数能力に与える影響を追究してきた。これらの研究では領域一般の作動記憶サブシステムや言語スキルならびに領域固有の量や計数課題などを検討している。その結果、算数問題が言語的か非言語的かによって影響する発達認知要因に違いが見られた。言語的算数問題の遂行では就学児において言語能力が影響を与えたが、非言語的な問題では就学前児で音韻意識や視空間作動記憶が関与することが示された。就学前児はメンタルモデルを用いて問題を解いていることが示唆され、作動記憶の空間注意 (視空間スケッチパッド) と中央実行系が寄与することも明らかにされた。

言語スキルと算数能力との関連では一般に算数問題・計算問題が言語的形式で表され、言語理解に基づいて解答が要求されることから言語能力が重要となる。その場合、多くの先行研究では言語能力のなかの音韻意識を取り上げてきたが、就学前児ではその効果が見られるものの、就学児では効果が明確でなく、不一致な結果がえられている。この点に関しては就学児で今後の検討が必要であろう。また、Zhang et al. (2014) はこうした音声言語の影響だけでなく、計算問題などでは書字言語の役割も指摘し、さらに、Purpura et al. (2011) では広く読み書き能力と算数能力との相互的影響関係も指摘している。このように言語能力が算数発達に影響することが明らかにされているが、算数問題の種類と対象年齢によって影響する要因に違いが認められた。今後、どのような算数問題にどのような言語能力が関与するのかなどについて詳細な

分析が必要であろう。

作動記憶に関しては就学前児や幼稚園児では非言語的問題において視空間スケッチパッドと中央実行系が、就学児では言語的問題において言語や音韻ループが関与していることが窺われた。作動記憶の3サブシステムは算数成績や算数能力に影響することが判明した。

また、領域固有な要因としては量理解が検討されているが、それ以外に、計数課題が就学児の算数能力を予測することが示された (Krajewski et al., 2007; Passolunghi et al., 2007; Zhang et al., 2014)。計数は数字語を用いて数系列を唱えることであるが、この能力は言語スキルと関連する。計数の習得や働きと言語との関係に関してはさらに追究していくことが要請されよう。また、上記の諸研究ではIQを媒介としてその効果が見出された研究が報告されている (Passolunghi et al., 2007)。その他に親の教育程度や社会経済的家庭環境なども取り上げられているが (Ramani, Rowe, Eason & Leech, 2015)、これらの変数を広く考慮した研究も必要であろう。

3. 初期数発達に影響する要因

上記の研究はいずれも年長幼児の幼稚園児や就学前児、就学児を対象としていたが、数発達とその影響要因を解明するためにはこうした年齢の対象児だけでなく、4歳以下の年少幼児に関しても検討し、初期発達からその発達過程を捉えることが必要であろう。ここでは年少幼児に関する研究に焦点を当て、数発達に影響する要因を探り、上記の諸研究を補完する。

年少幼児の数発達は家庭における買い物や食事などの日常生活や遊びを通じてインフォーマルに対人的相互交渉下で進展する (Saxe, 2004; 山形, 2016)。これまでの研究は親の数に関するトーク (talk) 量やその質が数発達における基数理解を予測し、また、数理解を促進させることを示唆している (Levine, Suriyakham, Rowe, Huttenlocher & Gunderson, 2010)。たとえば、Levine et al. は14～30カ月の間に5回の家庭訪問をおこなって観察し、46カ月に親の数トーク量が基数理解を予測することを実証している。

その他に、インフォーマルな数活動が事例報告や質問紙、面接を用いて年少幼児で研究されている (Blevins-Knabe & Musun-Miller, 1996; Blevins-Knabe, Berghout, Musun-Miller, Eddy & Jones, 2000; Durkin, Shire, Riem, Crowther & Rutter, 1986; Fuson, 1988; LeFevre, Shwarchuk, Smith- Chant, Fast, Kamawar & Bisanz, 2009; Mix, 2009; Saxe, Guberman & Gearhart, 1987; 山形, 2016)。たとえば、Blevins-Knabe et al. (1996) ではどのような数行動 (活動) が家庭で見られるのかを電話インタビューで探っている。彼女らの研究1では3.5歳～5.5歳の母親に対象児の数行動13項目と親子共同でおこなう数行動20項目に関して4件法を用いて先週に生じた頻度の回答を求めている。結果は子どもの数行動では数唱、事物の計数、1～10の数をいうなどの項目が頻出した。親子の共同行動では1～10の数をいう、計数をおこなうように励ます、数字を用いたことを褒めるなどの項目が見られ、子どもの数行動と親子のそれがほぼ同じであ

ることが見出されている。研究2では平均5歳7カ月児を対象に研究1と同じ数行動の質問に対する親の回答と対象児の算数テスト (Early mathematic Ability-Second Edition TEMA-2) との関係調べ、両者の間に有意な相関を見出している (ただし、その後の Blevins-Knabe et al. (2000) の研究では平均3歳7カ月と5歳3カ月の対象児で算数テストとの関連を調べているが、相関がないことを報告している)。

山形 (2016) も家庭における数関連活動のエピソード分析をおこない、母子対人相互交渉を介して年少幼児の数獲得が促進される可能性を指摘している。数発達の初期段階ではこのような対人的な関係が重要な役割を果たしていると考えられる。

また、筆者は数課題間の関連性を探り、領域固有な観点から数発達に影響する要因を保護者に対する質問紙調査と年少幼児の面接調査において検討している (Yamagata, 2016a, 2016b)。質問紙調査では359名の保護者から数関連の19項目から成る項目に回答をえているが、これらの項目を因子分析したところ、3因子 (数操作・数字読字・数字をいう) が抽出されている。回帰分析の結果は発達的に先ず「数唱・年齢をいう」が見られ、次いで「数字読字・数認識」、さらに「数字書字・数操作」へと発達することが見出された。

また、面接調査では2歳から4歳の対象児に6種類の数課題 (数唱、計数積木、丸の計数、基数、数読字、数書字) を課し、数の読字・書字と他の数能力との発達の関連性を見ている。回帰分析の結果は数唱課題と計数課題が10までの数読字課題に有意に寄与し、この数読字が次いで基数課題に寄与した。また、数読字11以上が数書字と基数課題に有意に寄与することも見出された。これらの研究では数発達の初期に数唱や数字語の獲得が先ず見られ、次いで計数へ発展することが示された。また、子ども自身が周囲の環境に提示されている数に能動的に興味を示すこと (数認識) も見られた。そして、計数の発達後には数読字が見られ、基数理解や数書字へと発達した。こうした数の発達過程は Krajewski & Schneider のモデルの3発達水準に一部当てはまるが、彼らと異なり、これらの研究では4歳以下の年少幼児が対象とされている。また、計数の算数能力に与える影響がすでに示されているが (Krajewski et al., 2009; Passolunghi et al., 2007)、計数以前の数唱の重要性も新たに指摘されている。今後、発達初期の数唱や数字語の獲得、計数、計数系列知識などの領域固有な発達間の関連をその発達に影響する要因も含めて解明する必要がある。

なお、年少幼児を対象としたこれらの研究では領域一般の要因を検討していない。それは年少幼児に使用可能な適切なテストがないことが主な理由である。たとえば、作動記憶課題は年少幼児に適用することが難しく、言語能力を測る絵画語彙テスト (Peabody Picture Vocabulary Test) も3歳から適用され、2歳代の対象児には使用できない。音韻意識を調べる課題も年少幼児には困難である。したがって、領域一般を調べる課題がないが、今後、これらのテストに代わる方法を工夫し、領域一般の要因の影響を検討することが望まれる。

以上のように、年少幼児では数発達に影響する要因として対人的交渉が大きく作用することが窺われた。年長幼児の研究ではこの点が考慮されていないが、数発達の初期段階では対人的

交渉下での数獲得を重視する必要がある。

また、領域固有な要因として数発達過程における数唱や計数の獲得が基礎となり、段階を踏まえて数読字や基数、順序数などへと進展し、年長幼児の数発達へと繋がっていくが、これらの一連の過程とそこに働く要因に関しては特に発達初期段階について十分な検討がなされていない。今後の検討が期待されるところである。

他方、領域一般の要因では数字語の獲得に言語発達が関連している可能性が高いことから、発達初期の年少幼児で言語発達・言語スキルとの関連を究明することが求められる。数発達に影響する要因は年齢によって違いがあると推定されることから、年少幼児から年長幼児に到る発達過程に作用する要因を年齢に応じて分析し、追究していくことが今後の課題である。

4. まとめにかえて

本稿では年長幼児と年少幼児における数発達に影響する要因をみてきたが、数発達はそれ自身単独で発達するのではなく、多様な要因の影響を受けながら進展することが明らかになった。最近の乳児研究では生得的知識として2つのコアシステムが提案されているが (Carey, 2004; Condry & Spelke, 2008)、乳児期以降に、どのように初期数発達が進展し、そこにどのような要因が関与しているのかを解明することは重要な検討課題である。本稿では年少幼児から年長幼児の時期に数発達に影響する要因として対人的要因、領域固有な数関連要因、領域一般の作動記憶、言語スキル要因などを吟味したが、今後は研究結果間の不一致が見られた研究の確認をおこなうとともに、研究が少ない年少幼児を中心に領域一般や領域固有な要因を数獲得と関連づけながら追究し、初期数発達とその規定要因を発達過程にしたがって総合的に把握する作業が必要であろう。

付記

文献収集に当たり JSPS 科学研究費基盤研究 (C) (2015 ~ 2017 年度) の助成を受けた。なお、本論文で引用した山形 (2016) と Yamagata (2016a, 2016b) の論文の資料収集に際しては調査対象者の皆様の同意をえて調査を実施した。

引用文献

- Ansari, D., Donlan, C., Thomas, M. S. C., Ewing, S.A., Peen, T., & Karmiloff-Smith, A. (2003). What makes counting count? Verbal and visuo-spatial contributions to typical and atypical number development. *Journal of Experimental Child Psychology*, 85, 50-62.
- Baddeley, A.D., & Hitch, G. (1974). Working memory. In G.A. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation* (pp. 47-89). New York: Academic Press.
- Bisanz, J., Sherman, J.L., Rasmussen, C., & Ho, E. (2005). Development of arithmetic skills and knowledge in preschool children. In J.I. D. Campbell (Ed.), *Handbook of mathematical cognition* (pp.143-162). New

York: Psychology Press.

- Blevins-Knabe, B., & Musun-Miller, L. (1996). Number use at home by children and their parents and its relationship to early mathematical performance. *Early Development and Parenting*, **5**, 35-45.
- Blevins-Knabe, B., Berghout, A.A., Musun-Miller, L., Eddy, A., & Jones, R.M. (2000). Family home care providers' and parents' beliefs and practices concerning mathematics with young children. *Early Child Development and Care*, **165**, 41-58.
- Durkin, K., Shire, B., Riem, R., Crowther, R.D., & Rutter, D.R. (1986). The social and linguistic context of early number word use. *British Journal of Developmental psychology*, **4**, 269-288.
- Carey, S. (2004). Bootstrapping & the origin of concepts. *Daedalus*, **133**, 59-68.
- Cirino, P.T. (2011). The interrelationships of mathematical precursors in kindergarten. *Journal of Experimental Child Psychology*, **108**, 713-733.
- Condry, K. F., & Spelke, E. S. (2008). The development of language and abstract concepts: The case of natural number. *Journal of Experimental Psychology: General*, **137**, 22-38.
- Dehaene, S., Piazza, M., Pinel, P., & Cohen, L. (2005). Three parietal circuits for number processing. In J. I. D. Campbell (Ed.), *Handbook of mathematical cognition* (pp. 433-453). New York: Psychology Press.
- Fuson, K.C. (1988). *Children's counting and concepts of number*. New York: Springer-Verlag.
- Gathercole, S. E., Pickering, S. J., Ambridge, B., & Wearing, H. (2004). The structure of working memory from 4 to 15 years of age. *Developmental Psychology*, **40**, 177-190.
- Geary, D.C. (2011). Cognitive predictors of achievement growth in mathematics: A five year longitudinal study. *Developmental Psychology*, **47**, 1539-1552.
- Geary, D.C., Hamson, C. O., & Hoard, M.K. (2000). Numerical and arithmetical cognition: A longitudinal study of process and concept deficits in children with learning disability. *Journal of Experimental Child Psychology*, **77**, 236-263.
- Gelman, R., & Gallistel, C.R. (1978). *The child's understanding of number*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Huttenlocher, J., Jordan, N.C., & Levine, S. C. (1994). A mental model for early arithmetic. *Journal of Experimental Psychology: General*, **123**, 284-296.
- Krajewski, K., & Schneider, W. (2009). Exploring the impact of phonological awareness, visual-spatial working memory, and preschool quantity-number competencies on mathematics achievement in elementary school: Findings from a 3-year longitudinal study. *Journal of Experimental Child Psychology*, **103**, 516-531.
- Leather, C. V., & Henry, L.A. (1994). Working memory span and phonological awareness tasks as predictors of early reading ability. *Journal of Experimental Child Psychology*, **58**, 88-111.
- LeFevre, J-A, Skwarchuk, S-L., Smith-Chant, B. L., Fast, L., Kamawar, D., & Bisanz, J. (2009). Home numeracy experiences and children's math performance in early school years. *Canadian Journal of Behavioural Science*, **41**, 55-66.
- LeFevre, J-A, Fast, L., Skwarchuk, S.L., Smith-Chant, B.L., Bisanz, J., Kamawar, D., & Penner-Wilger, M. (2010). Pathways to mathematics: Longitudinal predictors of performance. *Cognitive Development*, **81**, 1753-1767.
- Levine, S. C., Jordan, N. C., & Huttenlocher, J. (1992). Development of calculation abilities in young children. *Journal of Experimental Child Psychology*, **53**, 72-103.

- Levine, S.C., Suriyakham, L.W., Rowe, M.L., Huttenlocher, J., & Gunderson, E.A. (2010). What counts in the development of young children's number knowledge? *Developmental Psychology*, **46**, 1309-1319
- Linn, M., & Peterson, A. (1985). Emergence and characterization of sex differences in spatial ability: A meta-analysis. *Child Development*, **56**, 1479-1498.
- Passolunghi, M.C., Vercelloni, B., & Schadee, H. (2007). The precursors of mathematics learning: Working memory, phonological ability and numerical competence. *Cognitive Development*, **22**, 165-184.
- Purpura, D. J., Hume, L.E., Sims, D.M., & Lonigan, C.J. (2011). Early literacy and early numeracy: The value of including early literacy skills in the prediction of numeracy development. *Journal of Experimental Child Psychology*, **110**, 647-658.
- Ramani, G.B., Rowe, M.L., Eason, S. H., & Leech, K. A. (2015). Math talk during informal learning activities in Head Start families. *Cognitive Development*, **35**, 15-33.
- Rasmussen, C., & Bisanz, J. (2005). Representation and working memory in early arithmetic. *Journal of Experimental Child Psychology*, **91**, 137-157.
- Saxe, G.B. (2004). Practices of quantification from a sociocultural perspective. In K.A. Demetriou & A. Raftopoulos (Eds.), *Developmental change: Theories, models, and measurement* (pp. 241-263). New York, NY: Cambridge University.
- Saxe, G.B., Guberman, S.R., & Gearhart, M. (1987). Social Processes in early number development. *Monographs of the Society for Research in Child development*, **52**, (2, Serial No. 216).
- Sowinski, C., LeFevre, J-A., Skwarchuk, S-L., Kamawar, D., Bisanz, J., & Smith-Chant, B. (2015). Refining the quantitative pathway of the Pathways to Mathematics model. *Journal of Experimental Child Psychology*, **131**, 73-93.
- Starkey, P., & Cooper, R. G., Jr. (1980). Perception of numbers by human infants. *Science*, **210**, 1033-1035.
- Wynn, K. (1992). Addition and subtraction by human infants. *Nature*, **27**, 749-750.
- 山形恭子 (2016). 数の初期発達に関するエピソード分析—数表記を含む数の縦断研究— 矢野喜夫・岩田純一・落合正行 (編著) 認知発達研究の理論と方法 (pp. 137-154). 東京：金子書房.
- Yamagata, K. (2016a). Early Development of numerical activity including numerical notation at home. (準備中)
- Yamagata, K. (2016b). Relationships among the number abilities including number reading and writing in early development. (準備中)
- Zhang, X., Koponen, T., Räsänen, P., Aunola, K., Lerkkanen, M-K., & Nurmi, J-E. (2014). Linguistic and spatial skills predict early arithmetic development via counting sequence knowledge. *Child Development*, **85**, 1091-1107.

